

(43) 国際公開日
2006 年 6 月 15 日 (15.06.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/061891 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/0941 (2006.01) H01S 3/131 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/018291
- (22) 国際出願日: 2004 年 12 月 8 日 (08.12.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 森本 猛 (MORI-MOTO, Takeshi) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸

の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
腰前 利樹 (KOSHIMAE, Toshiki) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 渡辺 俊昭 (WATANABE, Toshiaki) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 鈴木 昭弘 (SUZUKI, Akihiro) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

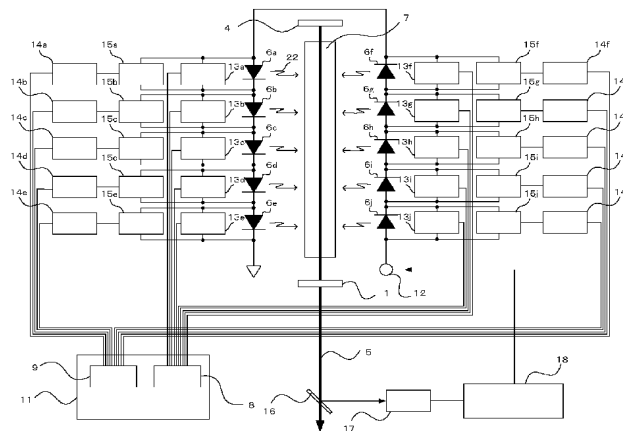
(74) 代理人: 高橋 省吾, 外 (TAKAHASHI, Shogo et al.); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社 知的財産センター内 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR,

[続葉有]

(54) Title: LASER DIODE PUMPED SOLID LASER OSCILLATOR AND LASER DIODE CONTROL METHOD FOR THE OSCILLATOR

(54) 発明の名称: レーザダイオード励起固体レーザ発振器および該発振器におけるレーザダイオード制御方法



(57) Abstract: LDs (6) are connected in series and serve to pump a solid pumped medium (7). A bypass circuit (15) is connected parallel to the LDs (6), and the drive of the bypass circuit (15) is controlled by a control circuit (14). A detection circuit (13) is provided to each LD (6) and detects short-circuit of each LD or open failure through the end-to-end voltage of each LD. The detecting circuit (13) and the control circuit (14) are connected to an LD short-circuit control circuit (11) and controlled by it. If the detecting circuit (13) detects failure of an LD, the LD short-circuit control device (11) detects the position of the failed LD and sends a signal to the predetermined control circuit (14) so as to bypass the current which has been flowing the failed LD and to operate a predetermined bypass circuit (15). The LD short-circuit control device (11) judges the position of an LD to be turned off on the basis of the position of the failed LD so as to remedy the mispointing in the solid pumped medium (7) and sends a signal to the control circuit (14) so as to turn off the LD to be turned off, operates the predetermined bypass circuit (15), and turns off the predetermined LD.

(57) 要約: LD 6 は複数直列に接続され、固体励起媒体 7 を励起する。各 LD 6 と並列にバイパス回路 15 が接続され、各バイパス回路 15 は制御回路 14 によりその駆動が制御されている。また、各 LD 6 には検出回路 13 が設けられており、LD 両端電圧などにより LD の短絡もしくは開放故障を検知する。検出回路 13 および制御回路 14 は LD 短絡制御回路 11 に接続され制御される。検出回路 13 により LD の故障を検出した場合、LD 短絡制御装

[続葉有]

WO 2006/061891 A1



HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,

IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

置 11 は故障したLDに流れていた電流をバイパスするために、故障したLDの位置を判断し所定の制御回路 14 に信号を送り、所定のバイパス回路 15 を動作させる。LD短絡制御装置 11 は、故障したLDの位置に基づき、固体励起媒体 7 内のポインティングずれを改善するために消灯すべきLDの位置を判断し、このLDを消灯すべく制御回路 14 に信号を送り、所定のバイパス回路 15 を動作させ、所定のLDを消灯する。

明 細 書

レーザダイオード励起固体レーザ発振器および該発振器におけるレーザダイオード制御方法

技術分野

[0001] 本発明はレーザダイオード(以下LDと呼ぶ)故障によるレーザ発振器停止回避、出力低下補正機能をもった固体レーザ発振器の構成と制御に関するものである。

背景技術

[0002] 図9は、LD励起固体レーザ発振器の構成を示した図である。図9に示すように、固体レーザ発振器は、部分反射ミラー1と全反射ミラー4との2枚のミラーに挟まれた1個または2個以上のキャビティ3から構成され、所望のレーザビーム5を取り出す装置である。図10にキャビティの概略図を示す。キャビティ3とは、固体励起媒体7を励起光源であるLD6から照射される光により励起するように構成されたものであり、図9では2個のキャビティを備えたレーザ発振器を示した。LD6は、レーザ発振器の出力やLD1個当りの出力等により、数10個～数100個を直列に接続され、固体励起媒体7を均一に励起するように配置されている。

[0003] 1つの固体励起媒体から取り出すことの出来るレーザパワーは、共振状態のレーザ光が通過しうる固体励起媒体7の体積(図10の網掛け部分であり、以下モードボリュームと呼ぶ)21で変化し、モードボリューム21の体積が増せばレーザパワーは増加する。このモードボリューム21はLD6の出力の増減に伴って増減する。また、固体励起媒体7の励起分布が一様である場合には、図10に示したように、固体励起媒体7の中心軸10に対してモードボリュームはほぼ一様に存在する。一般的に、キャビティからのレーザ出力はLD出力にほぼ比例し、LD出力はLD通電電流にほぼ比例している。よって、所望のレーザ出力を得るためには、LD電流を制御する手法が一般的である。また、高出力を所望する固体レーザ発振器では、部分反射ミラーおよび全反射ミラー間に、キャビティを複数個並べることにより、各キャビティ出力の和のレーザ出力を得るような構成を採用している。

[0004] 次に、LDの故障について説明する。

LD6の故障モードは短絡と開放がある。短絡故障した場合、LD6は発光せず、固体励起媒体7に非励起の箇所が発生する。このためモードボリューム21が減少し、レーザ発振器から出力されるレーザビーム出力が低下する。レーザビーム出力が低下するのを補う方法としてLD通電電流を増加させ、固体励起媒体7を全体的により強く励起することでレーザビーム出力を補正する方法が採られている。

[0005] 一方、LD6が開放故障した場合、LD6に通電する電流経路が断たれ、故障していないLD6も含め全てのLD6が消灯する。固体励起媒体は励起されず、レーザ発振器は停止し、レーザビームの出力は不可能となる。発振器停止対策としてLD6を並列接続する構成が挙げられる。この構成はLD直列接続構成時の n 倍(n :LD個数)の電流を供給できる電源および周辺設備が必要となり、構造的にもコスト的にも現実的ではない。そのため特許文献1、特許文献2などにあるようにLD6を直列接続構成とし、各LD6と並列にバイパス回路を設け、LD6が開放故障時電流経路を形成する方法が一般的に用いられた。バイパスされたLD6は消灯しているためレーザ出力は低下する。レーザ出力が低下するのを補う方法として、短絡した場合と同様にLD通電電流を増加させ、固体励起媒体7を全体的により強く励起することでレーザ出力を補正する方法が採られている。

[0006] 特許文献1:特開平10-284789号公報

特許文献2:特開昭59-103565号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0007] 従来のLD励起固体レーザ発振器では、LDが故障した場合、故障したLDが消灯することによるレーザ出力の低下を、他の正常なLDへの通電電流を増加させることで補正していた。しかし、故障したLDでの電力消費分を、単純に正常なLDでの電力増加分に割り振ることで、すなわちトータル電力量を故障前と同じにすることは元のレーザ出力を回復することはできない。以下にその理由を詳説する。

[0008] LDの故障等により、LD出力に偏りがあり固体励起媒体を均一に励起していないとき、固体励起媒体内でレーザビームがカーブし、いわゆるポインティングずれが発生する。ポインティングずれが発生したときに、励起効率が悪化する理由を説明する。

例えば、LDが1個消灯し、固体励起媒体を均一に励起していない場合のモードボリュームを図11(a)に示す。図11(a)のように、1個のLD20が消灯すると、不均一な励起のため固体励起媒体7内のレーザビーム5が強く励起されている方にカーブし、いわゆるポインティングずれが発生する。この場合、モードボリューム21は、固体励起媒体の中心軸10に対して一様には分布できない。通常、モードボリューム21は固体励起媒体7外には存在できないので、LD6の出力を増加した場合、図11(b)のようなモードボリューム21の形状とはならず、結局は固体励起媒体7内に収まるように図11(a)のような形状となる。よって、図11(b)において固体励起媒体7外にはみ出したモードボリューム21にほぼ相当する分だけ、レーザ出力が減少し励起効率が悪化することとなる。よって、元のレーザ出力を得るため、すなわち元のモードボリューム21を得るためには、故障する前のトータル電力量を供給しただけではならず、それ以上の電力を供給する必要がある。

[0009] また、高出力を得るためにキャビティを複数個ミラー間に直列に並べた固体レーザ発振器の場合を図12にて説明する。1個のキャビティにおいてLD20が消灯したとすると、該キャビティのモードボリューム21は図12に示す通り上記図11(a)と同様になるが、その他のキャビティも入射するレーザビームが固体励起媒体の中心からずれてしまうので、図12のようにLD20が消灯したキャビティと同様にポインティングずれが発生する。この場合も、LD20が消灯したキャビティにおけるモードボリューム21と同様に、モードボリューム21が固体励起媒体7からはみ出さないような形状になることで体積が減少し、励起効率が低下してしまう。低下の程度は、LDが消灯したキャビティの励起効率の低下とほぼ同じレベルである。

[0010] よって、上述したようにLD故障時は、LDが消灯し励起分布が不均一となり、消灯したLDの出力分を正常なLDの出力に割り振っても、すなわちトータル電力量を故障前と同じにしても元のレーザ出力は得られず、すなわちキャビティの励起効率が低下した状態となり、消灯したLDの出力以上の出力分を正常なLDが負担しなければならない。また、複数のキャビティを連結している場合は、全てのキャビティでポインティングずれが発生するため、LDが正常なキャビティも励起効率が低下する。このため、全てのLDが正常なキャビティも元のレーザ出力を得るためにLDの出力を増加させ

なければならない。

- [0011] ところで、LDは図13のように通電電流が増加すると寿命が短くなることが知られている。このためLDへの通電電流はできるだけ小さくしなければならない。しかし、上記のようにLDの消灯による励起効率の低下は、レーザ出力の回復のために消灯分以上の出力を必要とするので、LD通電電流が非常に大きくなり、LDの寿命が短くなるという問題が発生する。通電電流の増加を伴わないバイパス回路の構成例として、特許文献3のように予備のLDを持ったバイパス回路をLDと並列に設ける手法があるが、LDは非常に高価であり予備のLDを設けることはコスト的に問題があり、また特に高出力のレーザ発振器の場合、必要とするLDの個数が多く更に予備のLDを設けることは構造上の制約から適用は困難である。従ってLD故障発生時にレーザ出力の低下を補うためにLDへの通電電流を増加させざるを得ず、この増加をできるだけ小さくすることが必要である。

- [0012] 特許文献3:特開昭59-113768号公報

- [0013] 本発明は、前述のような課題を解決するためになされたもので、LDに不具合が生じポインティングずれによる励起効率の低下が発生した場合であっても、レーザ出力の回復に必要なLDへの通電電流の増加分を抑制することができるLD励起固体レーザ発振器を得るものである。

課題を解決するための手段

- [0014] 本発明に係るLD励起固体レーザ発振器においては、固体励起媒体と、前記固体励起媒体の周囲に配置され前記固体励起媒体に励起光を照射する複数のレーザダイオードと、前記レーザダイオードの不具合を検出する検出手段と、前記検出手段により不具合を検出したレーザダイオードの位置を判断し、該不具合発生レーザダイオードの位置に応じて、他の正常なレーザダイオードへの供給電流を制御する制御手段とを備えたものである。

発明の効果

- [0015] 本発明は、不具合の発生したLDの位置に基づき、他の正常なLDの出力を調整することにより、固体励起媒体内での励起分布の偏りを是正することで、所定のレーザ出力を得るためのLDの通電電流の増加を抑制することができる。

図面の簡単な説明

- [0016] [図1]この発明の実施の形態1を示すLD励起固体レーザ発振器の構成図である。
- [図2]この発明の実施の形態1であるLD励起固体レーザ発振器のLD短絡制御のフローチャートである。
- [図3]一般的なLD励起固体レーザ発振器における方向数を説明する図である。
- [図4]この発明の実施の形態1であるLD励起固体レーザ発振器のLD短絡制御の別のフローチャートである。
- [図5]この発明の実施の形態1であるLD励起固体レーザ発振器のLD短絡制御の他のフローチャートである。
- [図6]一般的なLD励起固体レーザ発振器におけるLDの通電電流とLDの励起光出力との関係を説明する図である。
- [図7]この発明の実施の形態1であるLD励起固体レーザ発振器のLDの点灯数と発振器のレーザ出力との関係を説明する図である。
- [図8]この発明の実施の形態1において固体励起媒体内のポインティングずれの改善を説明する図である。
- [図9]一般的なLD励起固体レーザ発振器の概要図である。
- [図10]一般的なLD励起固体レーザ発振器のキャビティの概要図である。
- [図11]固体励起媒体内のポインティングずれを説明する図である。
- [図12]2つのキャビティを連結した場合の固体励起媒体内のポインティングずれを説明する図である。
- [図13]LDの通電電流と寿命との相関を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

[0017] 実施の形態1.

以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。図1は、本発明の一実施例としてLDの短絡制御装置を設けたLD励起固体レーザ発振器の構成図である。ここでは、1つのキャビティに2方向から各方向5個、計10個のLDにより固体励起媒体が励起されるレーザ発振器を示した。図1において、LD6a〜6jは直列に接続され、電源装置12が出力する直流電流により発光し、励起光22により固体励起媒体7

を励起する。各LD6a〜6jと並列にバイパス回路15a〜15jが接続され、各バイパス回路15a〜15jは制御回路14a〜14jによりその駆動が制御されている。また、各LD6a〜6jには並列に検出回路13a〜13jが設けられており、LDの両端電圧によりLDの短絡もしくは開放故障を検知する。この検出回路は、例えば特許文献4に記載の方法を用いても良い。これら検出回路13a〜13jおよび制御回路14a〜14jは、LD短絡制御装置11に接続され検出信号や制御信号のやり取りを行う。発振器のON/OFFやレーザ出力の制御等は、LD電力制御装置18により行われる。

[0018] 特許文献4:特願2003-363040号

[0019] 上記では、検出手段としてLDの両端電圧によりLDの短絡もしくは開放故障を検知する検出回路を用いた構成を説明したが、例えば特許文献1に記載のフォトダイオードを用いた検出回路を用いてもよいし、特許文献2に記載の光サイリスタを用いてもかまわない。LDの短絡もしくは開放故障を検知する手段であれば、特にこれらの構成に限定されるものではない。

[0020] LD短絡制御装置11には、判断部8と制御部9が設けられている。判断部8は、検出回路13によりLDが故障したことを検出した信号を受けとり、いずれのLDが故障したかを判断し、固体励起媒体内の励起分布の偏りを是正するために次にどのLDを短絡するべきかを判断し、それぞれのLDの位置情報を制御部9に送る。制御部9は、判断部8からの位置情報に基づき、故障したLDのバイパス回路15および次に短絡すべきLDのバイパス回路15を駆動するため、駆動すべきバイパス回路15の制御回路14に制御信号を送る。

[0021] また、レーザビームの出力は以下のように制御する。部分反射鏡1を出射したレーザビーム5の光路上にハーフミラー16を配置し、ハーフミラー16で反射されたレーザビーム5の一部をパワーセンサ17で受光し出力を測定する。パワーセンサ17での検出値は、LD電力制御装置18に送られる。LD電力制御装置18では、この検出値から算出したレーザビーム5の実出力値と所望のレーザビーム出力値と比較し、実出力値が所望の出力値になるように、LDへの供給電力を調整するように電源装置12を制御する。

[0022] 次に、動作について、図2のフローチャートを用いて、図1の記号を参照しながら説

明する。

発振器稼動中は、常に検出回路13にてLD6の両端電圧をモニタリングし、LD故障の有無を監視する。(S001)

ここで、図1においてLD6aが故障したと仮定する。

検出回路13aがLD6aの開放もしくは短絡故障を検出すると、検出信号がLD短絡制御装置11の判断部8に送られる。

判断部8は故障したLD6aの位置を判断し、制御部9に故障したLD6aの位置情報を渡す。(S002)

制御部9は、受け取った故障したLD6aの位置情報に基づき、LD6aの電流をバイパスすべく、制御回路14aに短絡信号を送る。

制御回路14aは、短絡信号を受け取るとバイパス回路15aを動作させ、LD6aを短絡する。これにより、バイパス回路15aに電流が流れ、他のLD6b〜6jは消灯することなく発光を続ける。(S003)

[0023] 次に、判断部8は、方向数が偶数か奇数か判断する。(S004)

ここで、方向数とは、LD6が固体励起媒体7に対し幾つの方向から励起光を照射しているかを表す数値である。図3(a)〜(d)はキャビティをレーザビーム光軸方向から見た図であるが、図3(a)は2方向から励起光を照射しているものであり、方向数は2である。同様に図3(b)は方向数3の場合を示し、(c)は方向数4、(d)は方向数6を示している。励起分布の対称性を重視するために、図3に示すように、固体励起媒体7を中心に等角度間隔でLD6は配置されている。

図1の場合は、方向数は2なので判断部8は偶数と判断する。

判断部8は故障したLD6aの位置情報に基づき、次に短絡すべきLDを選択する。

図3(e)はキャビティを横方向から見た図であるが、ポインティングずれを改善するためには、故障したLD20の位置に対し固体励起媒体の中心軸10に垂直な同一平面S上にあるLD23を消灯すればよい。

方向数が偶数の場合は、故障したLD20と固体励起媒体の中心軸10に垂直な同一平面上にある対向する位置のLD23を消灯する。例えば方向数2, 4, 6の場合は、それぞれ図3(a) (b) (d)に斜線で示した列の、図3(e)で示した故障したLD20と固

体励起媒体の中心軸10に垂直な同一平面上にあるLD23を消灯するように制御する。(S005)

奇数の場合、故障したLD20と固体励起媒体の中心軸10に垂直な同一平面上にあるLD23をすべて消灯する。例えば方向数3の場合は、図3(b)に斜線で示した列の、図3(e)で示したLD20と固体励起媒体の中心軸10に垂直な同一平面上にあるLD23を消灯するように制御する。(S006)

図1の場合は、LD6fが短絡すべきLDとなるので、判断部8は制御部9にLD6fの位置情報を渡す。

制御部9は、受け取った短絡すべきLD6fの位置情報に基き、LD6fの電流をバイパスすべく、制御回路14fに短絡信号を送る。

制御回路14fは、短絡信号を受け取るとバイパス回路15fを動作させ、LD6fを短絡する。これにより、LD6fは閾値電流に達しないために消灯し、LD6b〜6eおよびLD6g〜6jは発光しつづける。

[0024] また、LD電力制御装置18は、LDの消灯により低下したレーザ出力を所望のレーザ出力に回復するように、パワーセンサ17の測定値をフィードバックしながら電源装置12を制御しLD通電電流を調整する。(S007)

そして、発振器が停止されるまで、上記ステップS001からS007までを繰り返す。

[0025] 上記ステップS005にて、方向数が偶数の場合、消灯したLDに対向するLDを消灯するとしたが、方向数が奇数の場合と同様に、対向するLDを含み固体励起媒体の中心軸に垂直な同一平面上にあるLD全てを消灯してもポインティングのずれは改善できる。しかし、この場合、例えば図3(c)に示した方向数4では、故障したLDを含み4個のLDを消灯することとなり、レーザ出力を復帰させるにあたり他の正常なLDへの負荷が大きくなる。また、方向数が偶数の場合は、故障したLDに対向するLDのみ消灯することで、ポインティングの改善は可能なので、ステップS005のように処理することが望ましい。

[0026] ところで、上記動作の説明では、判断部8で方向数の判断を行っているが、通常、方向数は各レーザ発振器の設計値として決まっているので、判断部8も方向数が偶数もしくは奇数いずれかの固定された処理を行うように、備えられる発振器に合わせ

て設計してもかまわない。例えば、レーザ発振器の設計が、方向数が偶数であれば、図4(a)のようにステップS004、S006を省略しても良いし、レーザ発振器の設計が、方向数が奇数であれば、図4(b)のようにステップS004、S005を省略しても良い

[0027] また、上記動作の説明では、故障により消灯したLDを短絡した後、次に消灯するLDを選択しそのLDを短絡するとしたが、以下のように故障したLDと次に消灯するLDの位置を先に判断しておき、その後、故障したLDと次に消灯するLDを短絡するように、各制御装回路に信号を送っても良い。この場合の動作フローを、図5を用いて説明する。図5において、上記図2の動作と同じ内容のステップについては同じステップ番号を記載する。

[0028] 発振器稼動中は、常に検出回路13にてLD6の両端電圧をモニタリングし、LD故障の有無を監視する。(S001)

ここで、図1においてLD6aが故障したと仮定する。

検出回路13aがLD6aの開放もしくは短絡故障を検出すると、検出信号がLD短絡制御装置11の判断部8に送られる。

判断部8は故障したLD6aの位置を判断する。(S002)

[0029] 次に、判断部8は、方向数が偶数か奇数か判断する。(S004)

図1の場合は、方向数は2なので偶数と判断する。

判断部8は故障したLD6aの位置情報に基き、次に短絡すべきLDを選択する。

方向数が偶数の場合は、故障したLD22と対向する位置のLD23を選択する。(S011)

奇数の場合、故障したLD22と固体励起媒体の中心軸10に垂直な同一平面上にあるLD23をすべて選択する。(S012)

図1の場合は、LD6fが短絡すべきLDとなる。

判断部8は、短絡すべきLD6aとLD6fの位置情報を制御部9に渡す。

制御部9は、受け取った故障したLD6aの位置情報および消灯すべきLD6fの位置情報に基き、LD6aおよびLD6fの電流をバイパスすべく、制御回路14aおよび制御回路14fに短絡信号を送る。

制御回路14aは、短絡信号を受け取るとバイパス回路15aを動作させ、LD6aを短

絡する。また、制御回路14fは、短絡信号を受け取るとバイパス回路15fを動作させ、LD6fを短絡する。これにより、バイパス回路15aおよび15fに電流が流れ、LD6fは閾値電流に達しないために消灯し、LD6b〜6eおよびLD6g〜6jは消灯することなく発光しつづける。(S013)

[0030] また、LD電力制御装置18は、LDの消灯により低下したレーザ出力を所望のレーザ出力に回復するように、パワーセンサ17の測定値をフィードバックしながら電源装置12を制御しLD通電電流を調整する。(S007)

そして、発振器が停止されるまで、上記ステップS001からS007までを繰り返す。

[0031] 上記動作の説明では、LDが短絡故障した場合もバイパス回路を動作させるとした。通常は、LDが短絡故障をした場合には電流は流れつづけるので、他の正常なLDに影響はなく、必ずしもバイパス回路を動作させる必要はない。しかし、短絡故障したLDのはんだ部が異常過熱し、はんだが飛散する恐れがあるため、バイパス回路を動作させ故障LDに流れる電流量を低減することが望ましい。

[0032] 次に、上記動作によりLDの通電電流の増加が抑えられることを1つのキャビティからなる発振器を例に詳説する。

まず、図6を用いてLDの通電電流とレーザビーム出力の関係を説明する。図6はLDの通電電流とLD出力相関図である。LDは閾値電流 I_0 からLD光を出力し始め、通電電流に比例してLD出力を増す。電流 I に対するLD出力を P_{LD} とすると以下の式が成り立つ。

$$P_{LD} = \alpha(I - I_0) \quad \dots (1)$$

ここで α は通電電流に対するLD出力の割合である。

図7はLD点灯数とレーザ出力相関図である。現在点灯しているLD数を n 個とすると、レーザ出力 P_{YAG} は以下の通りとなる。

$$P_{YAG} = \beta(n \cdot P_{LD}) \quad \dots (2)$$

ここで β は励起効率を示す係数である。

まずLDの故障がない場合(図7中の点A)、LD通電電流 $I=I_1$ 、レーザ出力を P_{YAG1} とすると、式(1)(2)より以下の式が導かれる。

$$\begin{aligned} P_{YAG1} &= \beta_1 (n \cdot P_{LD1}) \\ &= \beta_1 \{n \cdot \alpha (I_1 - I_0)\} \end{aligned} \quad \dots (3)$$

[0033] 次にLDが故障した場合(図7中の点B)、検出回路がLD故障を検出し、LDバイパス回路を駆動する。励起光源数が減少し、ポインティングずれにより励起効率低下($\beta_1 \rightarrow \beta_3$)が発生し、レーザ出力は P_{YAG2} に減少する。ここで、式(1)(2)より P_{YAG2} は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} P_{YAG2} &= \beta_3 \{(n-1) \cdot P_{LD1}\} \\ &= \beta_3 \{(n-1) \cdot \alpha (I_1 - I_0)\} \end{aligned} \quad \dots (4)$$

LD電力制御装置はレーザ出力 P_{YAG2} を指令値 P_{YAG1} に追従するよう電源装置にLD通電電流増加を指令する(図7中の点C)。指令電流値 I_3 時のLD出力を P_{LD3} とすると、式(3)(4)より以下の式が導かれる。

$$\begin{aligned} \beta_3 \{(n-1) \cdot P_{LD3}\} &= P_{YAG1} \\ \beta_3 \{(n-1) \cdot \alpha (I_3 - I_0)\} &= \beta_1 \{n \cdot \alpha (I_1 - I_0)\} \end{aligned} \quad \dots (5)$$

$$I_3 = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\beta_1}{\beta_3} \cdot (I_1 - I_0) + I_0$$

ここで指令電流 I_3 の値は、右辺第2項は定数であり、第1項

$$\frac{n}{n-1}$$

は故障前のLD点灯数 n が数10個～数100個と十分に大きければ

$$\frac{n}{n-1} \approx 1$$

と近似できるため、励起効率に逆比例する

$$\frac{\beta_1}{\beta_3}$$

が支配的となる。本発明ではこの点に注目し、励起バランスが均一となるように正常なLDに並列に設けられたバイパス回路を駆動してLDを消灯する。これにより、元のレーザ出力を得るためのLD通電電流増加を抑制し、LD寿命低下を抑制する。

[0034] 前述のようにLDが1個消灯すると固体励起媒体の励起分布に偏りが生じ、ポインテ

イングずれが発生することで、励起効率が低下する。これを解消する一例として、固体励起媒体を対称な2方向からLDで励起するキャビティを用いて説明する。

- [0035] LDが故障、消灯すると励起分布に偏りが生じる。先に述べたように、ビームは強く励起されている方にカーブするため、消灯したLDと反対側にポインティングずれを起す。そこで、図8に示すように、故障したLD20と固体励起媒体の中心軸10を挟んで対面に配置されているLD23をバイパス回路により短絡する。これにより、図8のように故障したLD20と固体励起媒体中心を結ぶ線上の励起分布の偏りはなくなり、ポインティングずれは軽減される。故障LD20の対面に位置するLD23をバイパスするためLD点灯数は $n-2$ 、励起効率は β_2 ($\beta_1 > \beta_2 > \beta_3$)となり、レーザ出力を指令値 P_{YAG1} に追従するようにした場合(図7中の点D)、式(3)(4)より以下の式が導かれる。

$$\begin{aligned} \beta_2 \{(n-2) \cdot P_{LD2}\} &= P_{YAG1} \\ \beta_2 \{(n-2) \cdot \alpha(I_2 - I_0)\} &= \beta_1 \{n \cdot \alpha(I_1 - I_0)\} \quad \dots (6) \\ I_2 &= \frac{n}{n-2} \cdot \frac{\beta_1}{\beta_2} \cdot (I_1 - I_0) + I_0 \end{aligned}$$

ここでLD点灯数 $n \gg 1$ であるから

$$\frac{n}{n-2} \approx 1$$

と近似できるので、 I_2 の値は

$$\frac{\beta_1}{\beta_2}$$

が支配的となる。よって、LD通電電流 I_2 と I_3 とを比較した場合、 $\beta_2 > \beta_3$ であるから、式(5)(6)より $I_3 > I_2$ となり、明らかに故障したLDと対向したLDを消灯したほうが、LD通電電流は小さくなる。

- [0036] 上記では、1つのキャビティからなる発振器において、励起効率の改善を説明したが、複数のキャビティを連結した発振器において、励起効率の改善は以下の通りとなる。LDが故障する前は全てのキャビティの励起効率は β_1 である。LDが故障し消灯した後は、故障したLDを含むキャビティの励起効率は β_3 で、全てのLDが正常なキャビティもほぼ β_3 となる。故障した後、対向するLDを消灯した場合は、故障したLD

を含むキャビティの励起効率は β_2 で、全てのLDが正常な他のキャビティはほぼ β_1 となる。

- [0037] これは、故障したLDに対向するLDを消灯した場合、故障したLDを含むキャビティは固体励起媒体の中心軸10に対する励起分布の偏りはほとんど無くなりポインティングずれは改善されるが、固体励起媒体の長さ方向(中心軸10方向)にはやや励起分布のずれが残るため、励起効率が β_1 には達せず β_2 となってしまう。一方、全てのLDが正常なキャビティは、故障したLDを含むキャビティのポインティングずれが改善されれば、それ自身のポインティングずれも改善されるので、励起効率はほぼ β_1 に達する。

よって、複数のキャビティを備えた発振器のほうが、より励起効率の改善が顕著となる。

- [0038] 次に、具体的な発振器の構成例を用いて、上記効果を具体的な数値で説明する。例えば下記のようなLD／キャビティモデルで上記計算式を用いて検討する。

LD数: $n = 100$ 本

方向数: 偶数

閾値電流: $I_0 = 10A$

通電電流: $I = 40A$

励起効率: $\beta_1 = 50\%$

通電電流に対するLD出力の割合: $\alpha = 40W / 60A$

LDがすべて正常な場合は、(3)式よりキャビティ出力は以下の通りとなる。

$$P_{YAG1} = 0.5 \cdot 100[\text{本}] \cdot \frac{40[W]}{60[A]} (40[A] - 10[A]) \\ = 1000[W]$$

- [0039] 次に、LDが1個故障し消灯した場合、キャビティ出力を維持するために必要なLDの通電電流は42.42Aとなった。すなわちLD通電電流は通常の場合に比べ $42.42A - 40A = 2.42A$ 増加することになる。このときのポインティングずれによる励起効率は(5)式より以下の通りとなる。

$$\begin{aligned}
 I_3 &= \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\beta_1}{\beta_3} \cdot (I_1 - I_0) + I_0 \\
 &= \frac{100}{99} \cdot \frac{0.5}{\beta_3} \cdot (40 - 10) + 10 \\
 &= 42.42[A] \\
 \beta_3 &= 0.47
 \end{aligned}$$

[0040] 次に、消灯したLDに対向する位置にあるLDのバイパス回路を動作させ消灯した場合、キャビティ出力を維持するために必要なLDの通電電流は41.42Aとなった。すなわちLD通電電流は、通常の場合に比べ

$$41.42A - 40A = 1.42A$$

増加することになるが、一方、対向するLDを消灯しなかった場合に比べると、

$$41.42A - 42.42A = -1A$$

と1A通電電流が減少している。このときのポインティングずれによる励起効率(6)式より以下の通りとなる。

$$\begin{aligned}
 I_2 &= \frac{n}{n-2} \cdot \frac{\beta_1}{\beta_2} \cdot (I_1 - I_0) + I_0 \\
 &= \frac{100}{98} \cdot \frac{0.5}{\beta_2} \cdot (40 - 10) + 10 \\
 &= 41.42[A] \\
 \beta_2 &= 0.49
 \end{aligned}$$

よって、消灯したLDに対向するLDを消灯させなかった場合に比べ、ポインティングずれによる励起効率についても2%改善(0.47→0.49)されたことが判る。

[0041] また、LDの出力(P)とLDの寿命(T)の関係は(7)式により定義されることが知られている。

$$T \propto \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{-2.7} \quad \dots (7)$$

[0042] ここで、LDの寿命を仮にLDの通電電流が40A時に1万時間であったとすると、故障LDの対称位置のLDを消灯しなかった場合、LDの電流は40Aから42.42Aに増加し、また、式(1)よりLDの出力は $(I - I_0)$ に比例するので、LD寿命は下記のとおりとなる。

$$1000Hr \times \left(\frac{42.42A - 10A}{40A - 10A} \right)^{-2.7} = 8110Hr$$

一方、故障LDの対称位置のLDを消灯した場合、LDの電流は40Aから41.42Aに増加するので、LD寿命は下記のとおりとなる。

$$1000Hr \times \left(\frac{41.42A - 10A}{40A - 10A} \right)^{-2.7} = 8826Hr$$

よって、対称位置のLDを消灯しなかった場合に比べLD寿命が、
 $8826Hr - 8110Hr = 716Hr$

延長される。比率で約9%の寿命延長効果が得られる。

- [0043] さらに、消費電力も比較すると以下の通りとなる。故障LDの対称位置のLDを消灯しなかった場合、LDの数が99個、LDのON電圧が1.8V、LD電流が42.42Aなので、

$$99 \times 1.8 \times 42.42 = 7527W$$

となる。一方、故障LDの対称位置のLDを消灯した場合、LDの数が98個、LDのON電圧が1.8V、LD電流が41.42Aなので、

$$98 \times 1.8 \times 41.42 = 7257W$$

とおおよそ270Wも省エネとなる。比率で約4%の電力低減効果が得られる。

- [0044] 以上より、LD励起固体レーザ発振器において、LDの故障を検出する検出回路と、LDに流れる電流をバイパスするバイパス回路と、検出回路からの信号によりバイパス回路を制御し所定のLDを短絡するLD短絡制御装置を備えることにより、LDが故障し、固体励起媒体内でポインティングずれのため励起効率の低下が発生した場合でも、故障したLDの位置に基き所定のLDのバイパス回路を動作させ消灯することで、ポインティングずれを改善し励起効率を改善することができる。これにより、元のレーザ出力を得るためのLDへの電力供給の増加を抑制することができ、LDの寿命の延長やLDの消費電力の削減ができる。

産業上の利用可能性

- [0045] この発明に係るLD励起固体レーザ発振器は、高出力のレーザを得るために、励起光源用のLDを多数備える必要のあるレーザ発振器や、キャビティを複数連結する必

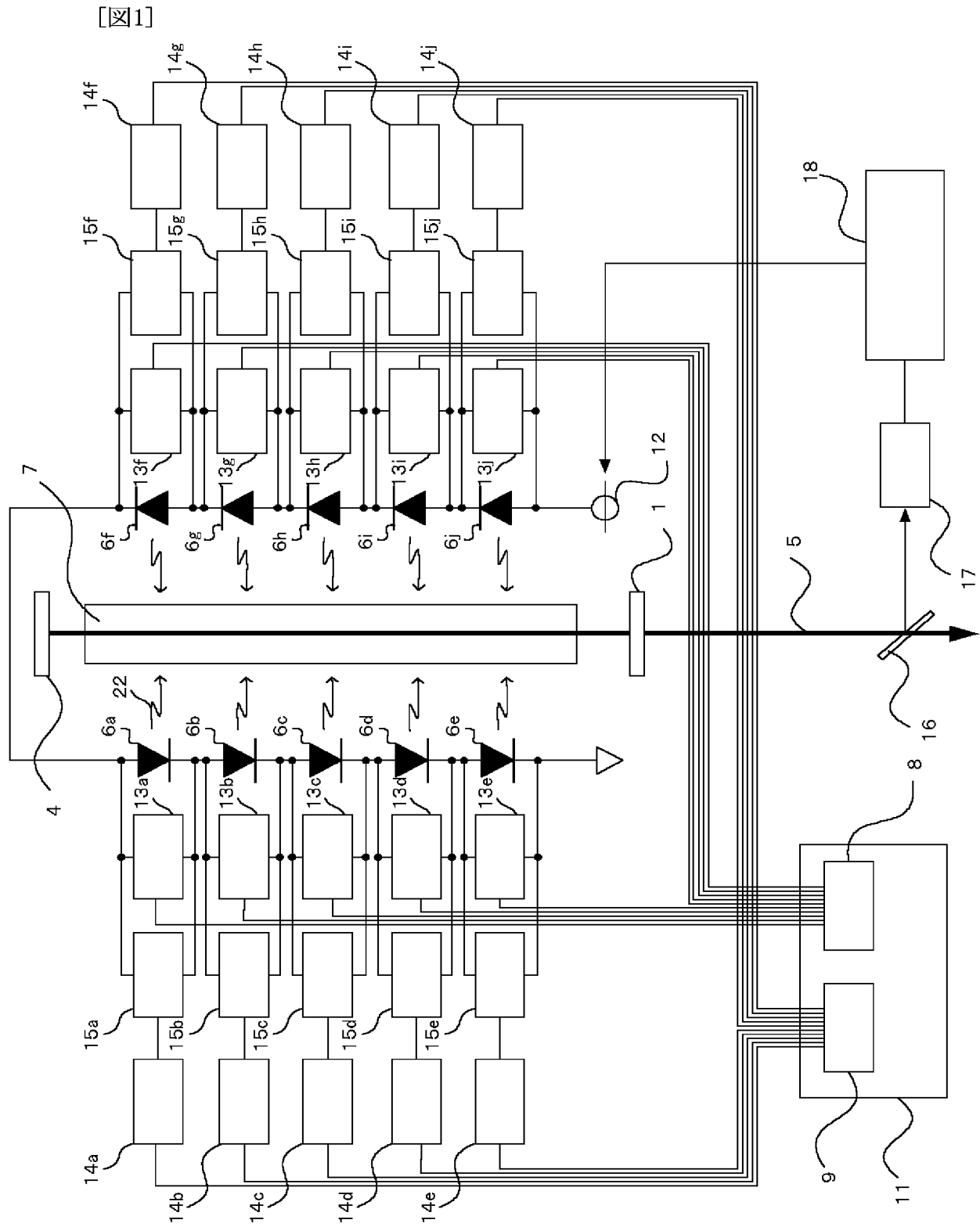
要のあるレーザ発振器に特に適している。

請求の範囲

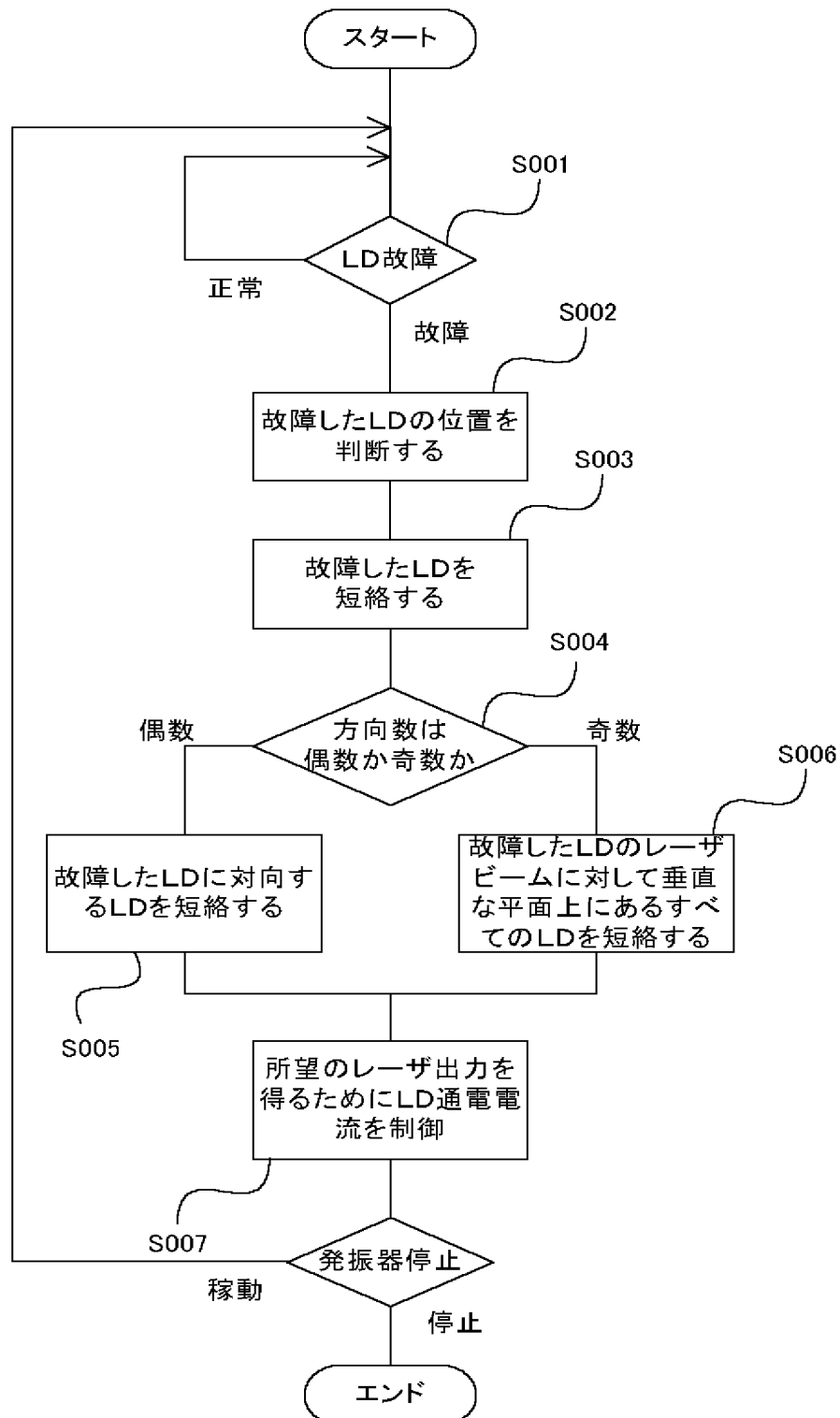
- [1] 固体励起媒体と、
前記固体励起媒体の周囲に配置され前記固体励起媒体に励起光を照射する複数のレーザダイオードと、
前記レーザダイオードの不具合を検出する検出手段と、
前記検出手段により不具合を検出したレーザダイオードの位置を判断し、この不具合発生レーザダイオードの位置に応じて、他の正常なレーザダイオードへの供給電流を制御する制御手段とを備えたことを特徴とするレーザダイオード励起固体レーザ発振器。
- [2] 前記制御手段は、不具合が発生したレーザダイオードの位置と前記固体励起媒体の中心軸に垂直な同一平面上に位置する正常なレーザダイオードの一部もしくは全てへの供給電流を停止し消灯させるものであることを特徴とする請求項1に記載のレーザダイオード励起固体レーザ発振器。
- [3] 前記制御手段は、前記レーザダイオードの方向数が偶数の場合、不具合の発生したレーザダイオードの位置に対向した位置の正常なレーザダイオードへの供給電流を停止し消灯させるものであることを特徴とする請求項2に記載のレーザダイオード励起固体レーザ発振器。
- [4] 前記制御手段は、前記レーザダイオードの方向数が奇数の場合、不具合の発生したレーザダイオードの位置と前記固体励起媒体の中心軸に垂直な同一平面上に位置する全ての正常なレーザダイオードへの供給電流を停止し消灯させるものであることを特徴とする請求項2に記載のレーザダイオード励起固体レーザ発振器。
- [5] 前記検出手段は、前記レーザダイオードの電極間に設けられ、このレーザダイオードの電極間の電圧にてそのレーザダイオードの故障を検出するものであることを特徴とする請求の範囲1から4のいずれかに記載のレーザダイオード励起固体レーザ発振器。
- [6] 前記制御手段は、前記レーザダイオードの電極間に設けられたバイパス手段を制御することで該電極間を短絡し、このレーザダイオードに流れる電流をバイパスするものであることを特徴とする請求項2から5のいずれかに記載のレーザダイオード励起

固体レーザ発振器。

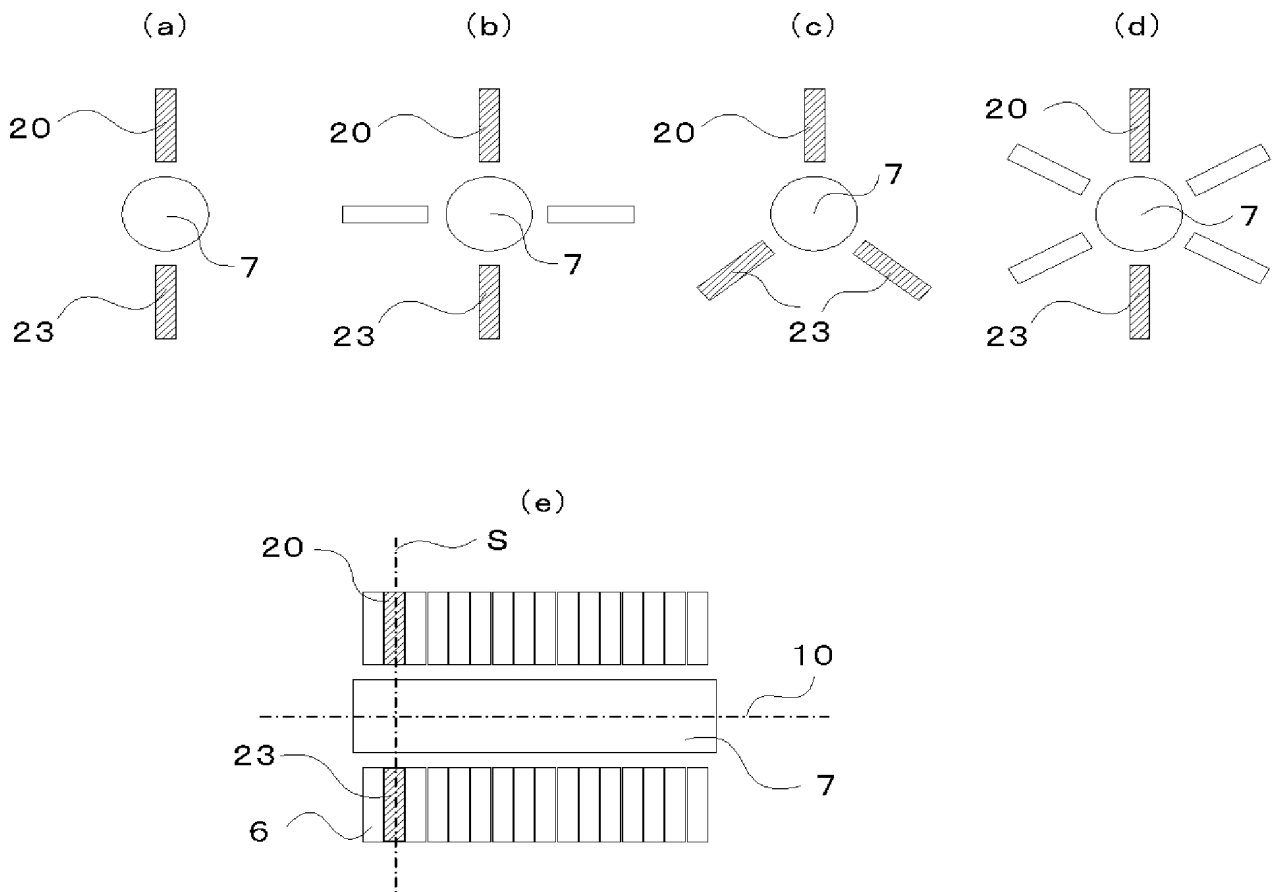
- [7] 出力されたレーザビームのパワーを検出し、所望のレーザビームパワーとなるように前記レーザダイオードへの供給電力量を調整する調整手段を備えたことを特徴とする請求項1から6のいずれかに記載のレーザダイオード励起固体レーザ発振器。
- [8] 前記固体励起媒体と前記レーザダイオードの組み合わせであるキャビティを複数、同一のレーザビーム光軸上に並べてレーザ出力を得ることを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載のレーザダイオード励起固体レーザ発振器。
- [9] レーザダイオードからの励起光により固体励起媒体を励起しレーザ出力を得るレーザダイオード励起固体レーザ発振器のレーザダイオード制御方法において、レーザダイオードの不具合を検出する工程と、前記不具合の発生したレーザダイオードの位置を判断する工程と、この判断した位置に基き消灯すべきレーザダイオードを選択する工程と、前記選択したレーザダイオードを消灯する工程と、前記レーザダイオードの消灯により変化したレーザ出力を、所望のレーザ出力に調整する工程とを備えたことを特徴とするレーザダイオード制御方法。
- [10] 前記レーザダイオードを選択する工程は、前記不具合の発生したレーザダイオードの位置と前記固体励起媒体の中心軸に垂直な同一平面上に位置する正常なレーザダイオードの一部もしくは全てを選択するものであることを特徴とする請求項8に記載のレーザダイオード制御方法。
- [11] 前記レーザダイオードを選択する工程は、前記レーザダイオードの方向数が偶数の場合、前記不具合の発生したレーザダイオードの位置に対向した位置の正常なレーザダイオードを選択するものであることを特徴とする請求項9に記載のレーザダイオード制御方法。
- [12] 前記レーザダイオードを選択する工程は、前記レーザダイオードの方向数が奇数の場合、前記不具合の発生したレーザダイオードの位置と前記固体励起媒体の中心軸に垂直な同一平面上に位置する正常なレーザダイオード全てを選択するものであることを特徴とする請求項9に記載のレーザダイオード制御方法。



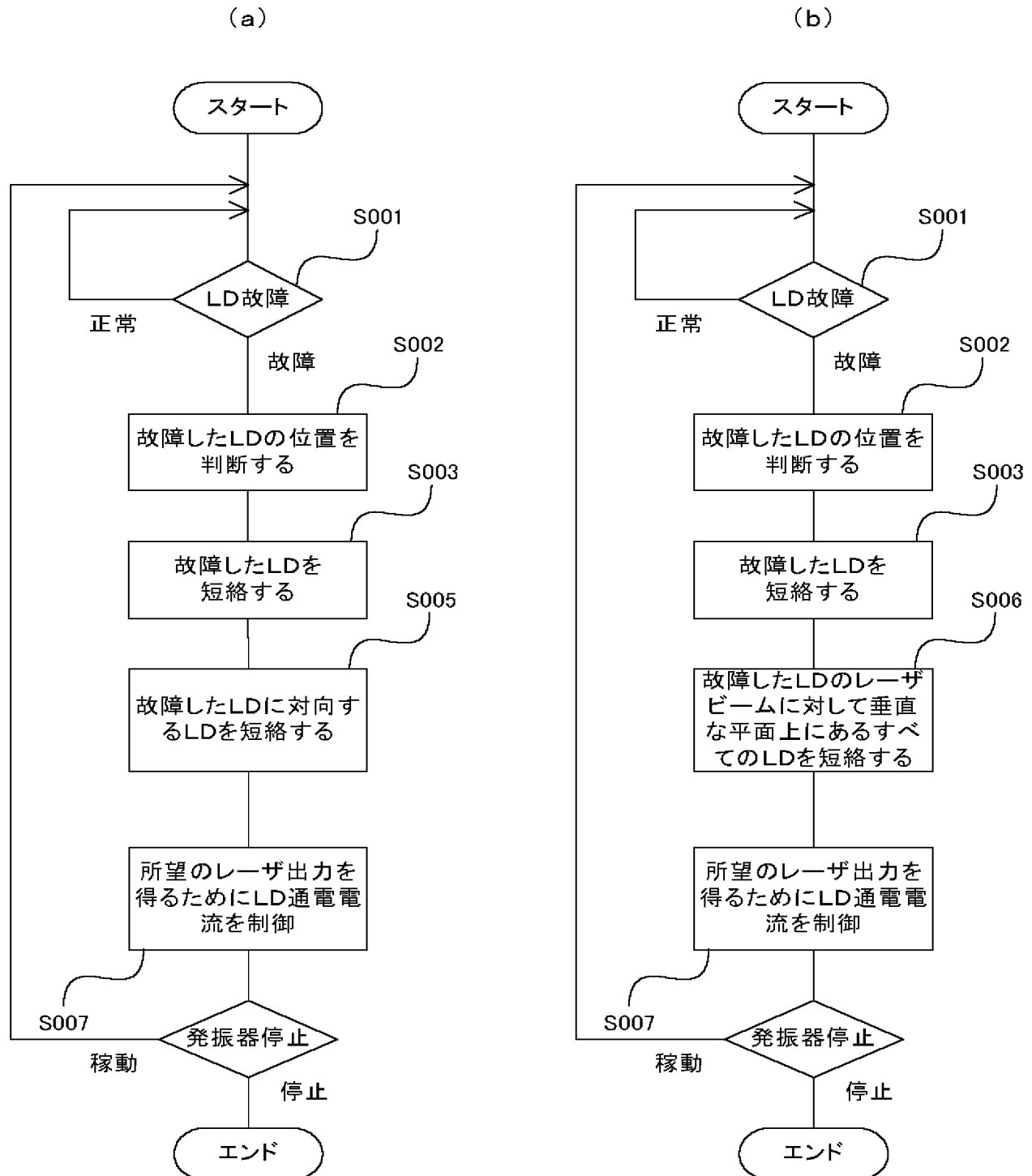
[図2]



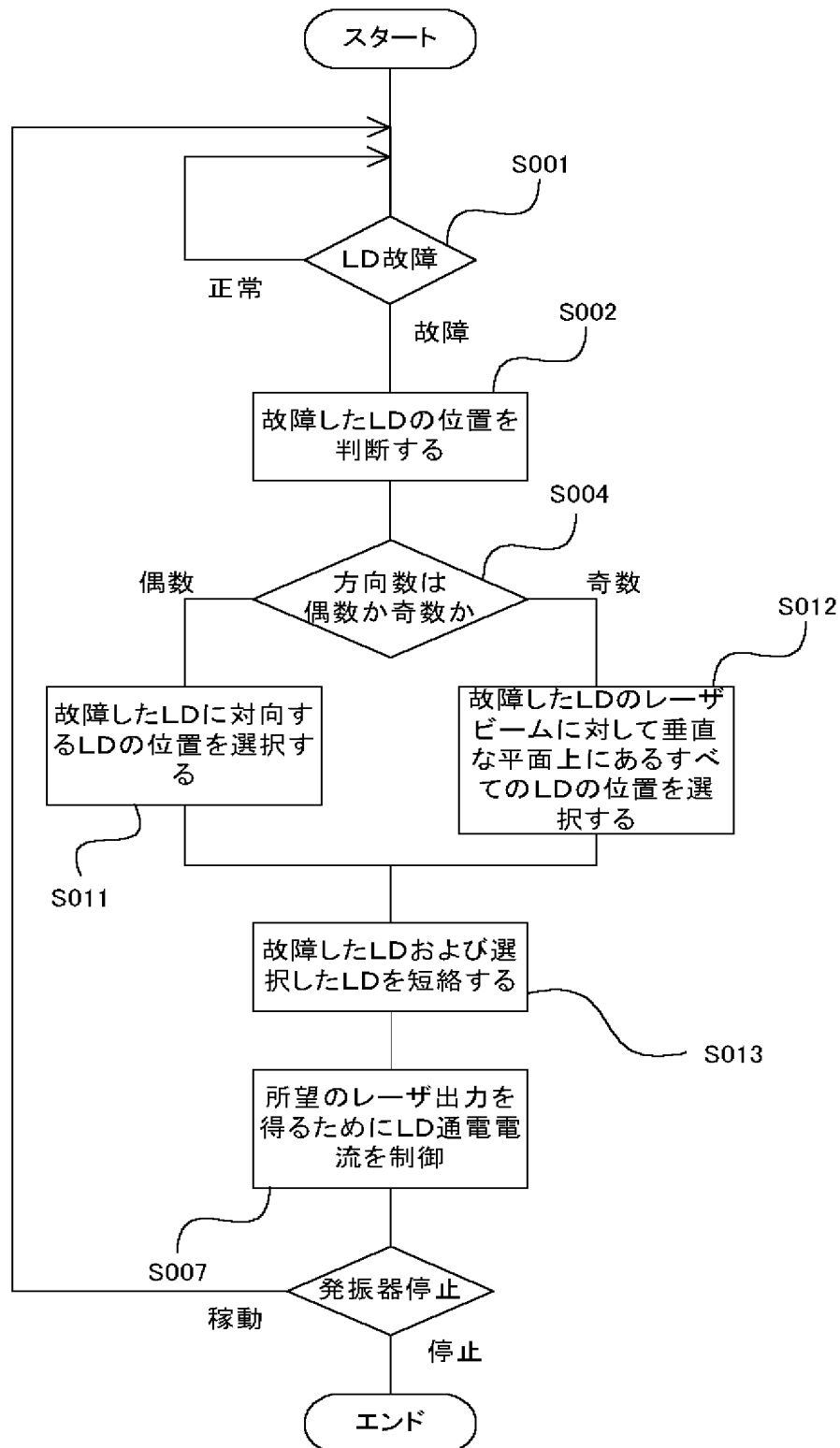
[図3]



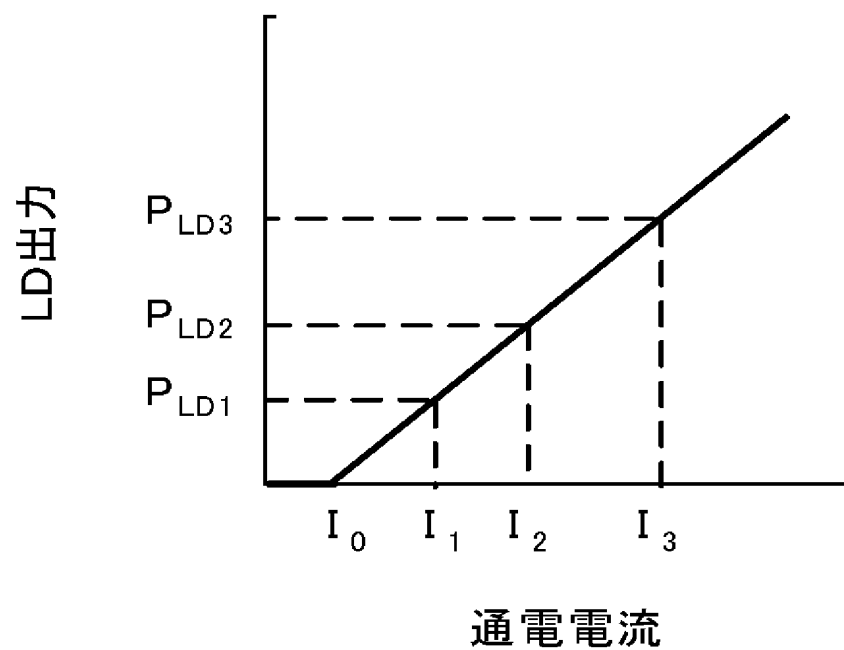
[図4]



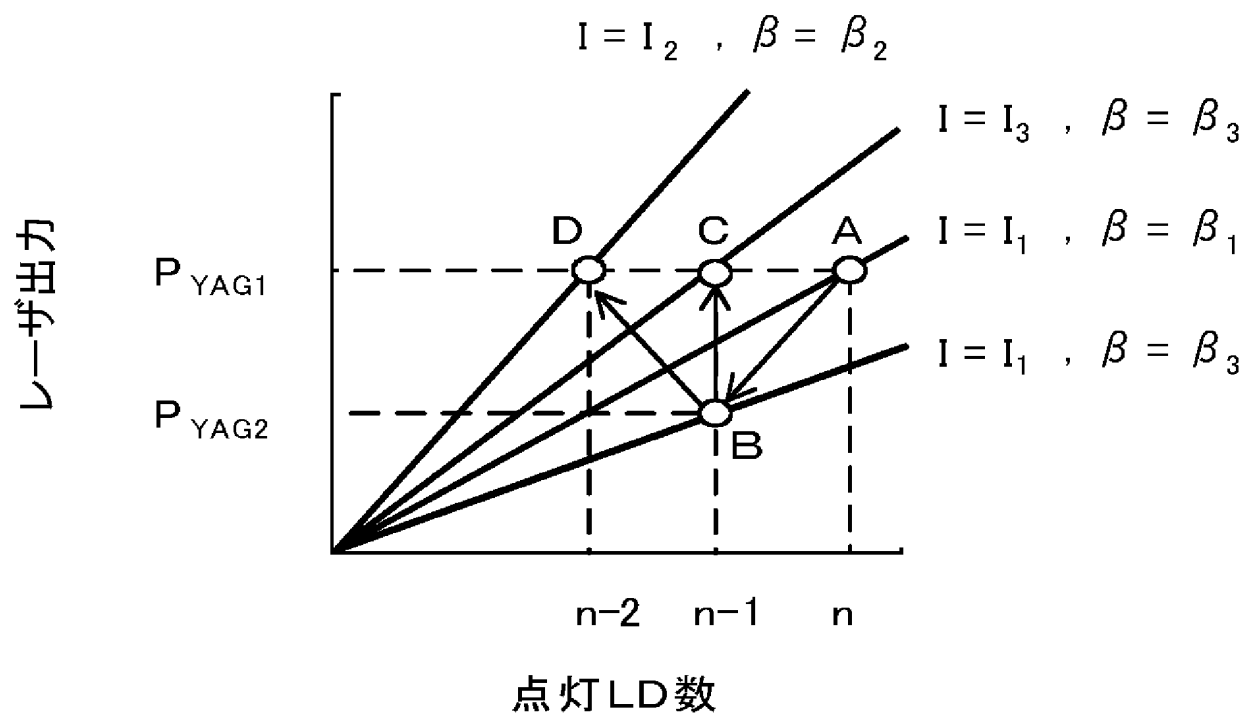
[図5]



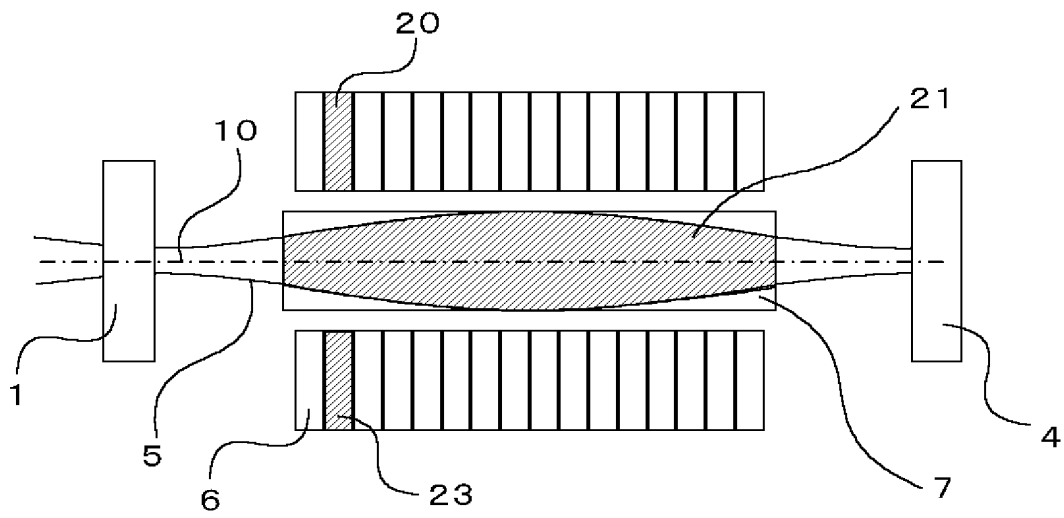
[図6]



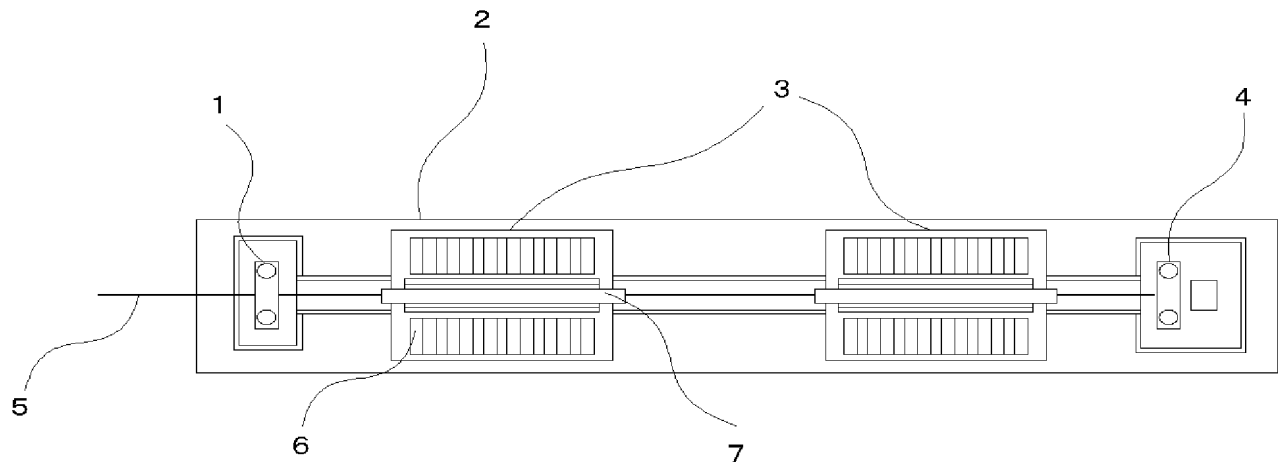
[図7]



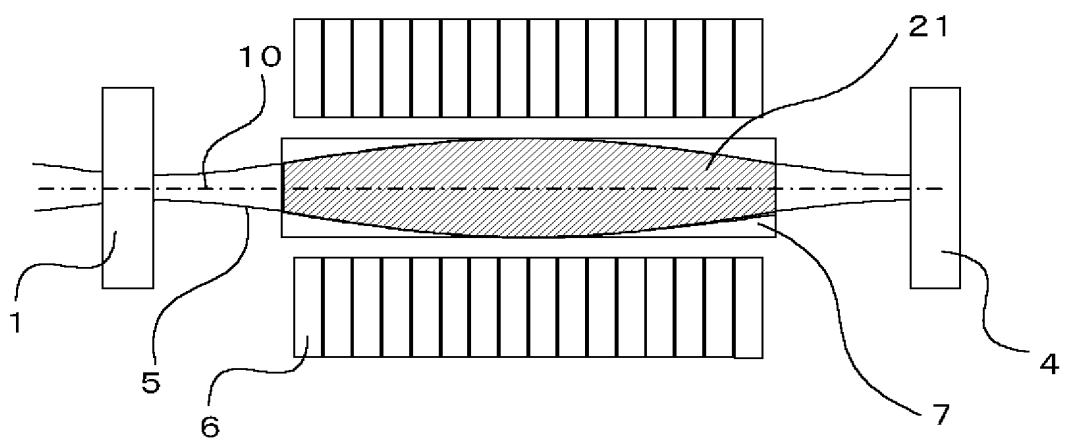
[[図8]]



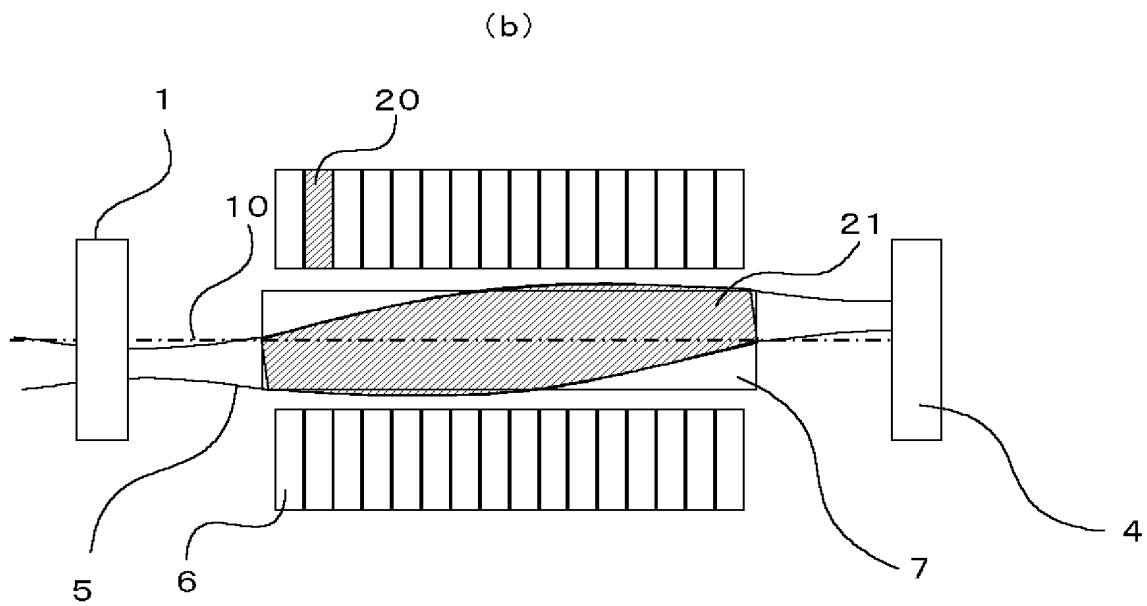
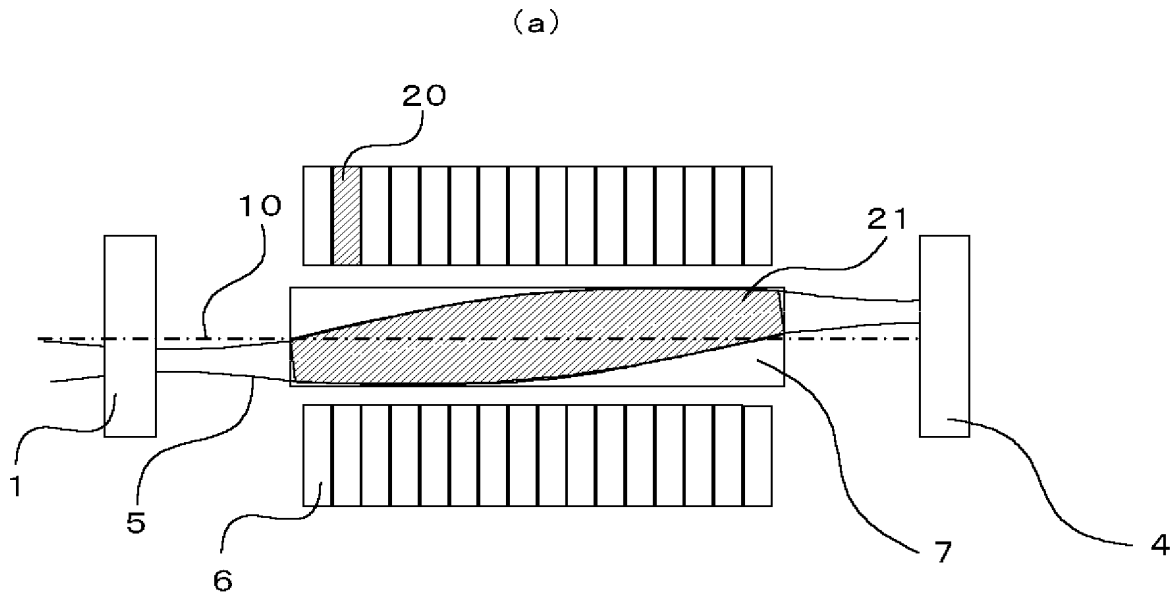
[[図9]]



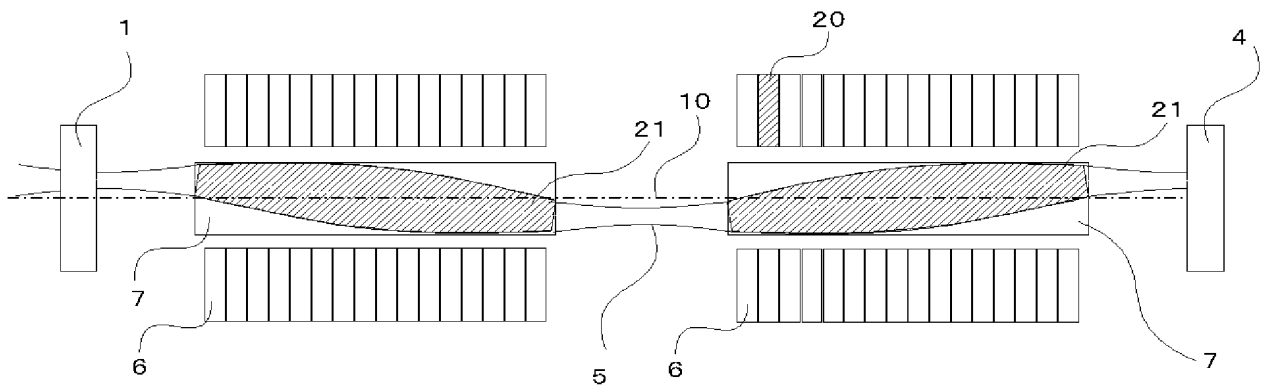
[[図10]]



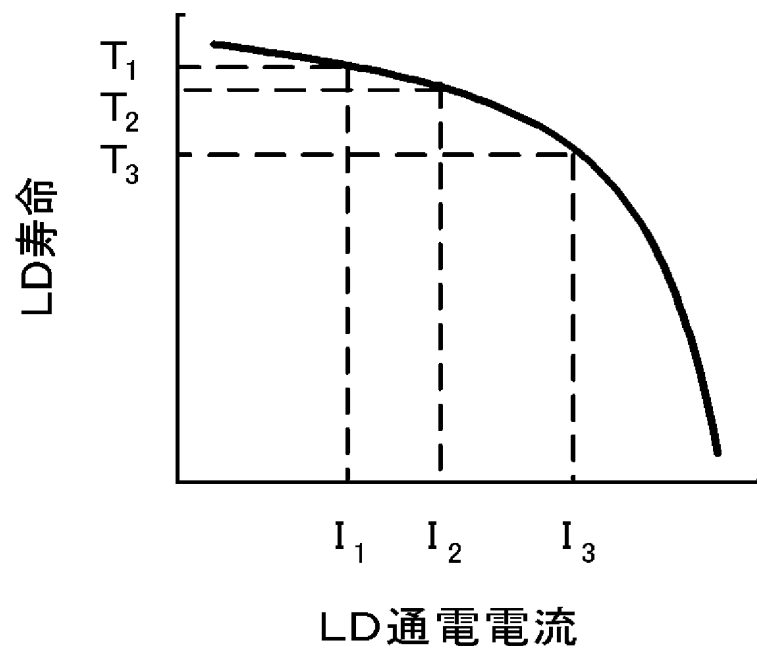
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/018291

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H01S3/0941, 3/131

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H01S3/00-3/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-14917 A (NEC Corp.), 15 January, 2004 (15.01.04), Abstract; all drawings (Family: none)	1-12
A	JP 2002-50813 A (Toshiba Corp.), 15 February, 2002 (15.02.02), Abstract; all drawings & DE 10137236 A1	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
24 February, 2005 (24.02.05)

Date of mailing of the international search report
15 March, 2005 (15.03.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ H01S3/0941; 3/131

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ H01S3/00-3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 2004-14917 A (日本電気株式会社) 2004. 01. 15, 要約, 全図 (ファミリーなし)	1-12
A	J P 2002-50813 A (株式会社東芝) 2002. 02. 15, 要約, 全図 &DE 10137236 A1	1-12

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24. 02. 2005

国際調査報告の発送日

15. 3. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

古田 敦浩

2K

3013

電話番号 03-3581-1101 内線 3253